

# SC-FDMA 系統下基於自動重傳機制結合模糊系統改善其重傳效能

黃晨賓\*、陳家銘、鄭獻勳、林品榮  
國立東華大學電機工程學系

**摘要** 本篇以 SC-FDMA(Carrier Frequency Division Multiple Access)為架構，並利用混合式自動重傳機制(Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ)技術結合模糊系統(Fuzzy System)可以減少重傳次數，改善系統效能。首先，根據既有的通道進行模擬訓練可以得到數筆訊號對干擾雜訊功率比與錯誤率的關係，並根據得到的資訊來設定模糊系統(Fuzzy System)的規則與門檻值，之後於傳送的訊號插入領航訊號(pilot signal)，利用通道估測法得到訊號對干擾雜訊功率比(Signal to Interference Noise Ratio, SINR)的大小。並將此 SINR 值做為模糊系統的輸入資訊，經過模糊系統的推論得到的結果用來判定重傳的次數，由模擬結果顯示，判定的結果使重傳次數能得到最佳的選擇且有自適應性的重傳動作，通過這樣的結合不僅能使系統有較低的錯誤率也能有效的減少重傳次數。

## 一、簡介

通訊系統堪稱是全球經濟與軍事的發展最活躍主流，相互通訊和彼此交流的頻繁，它們在社會經濟生活中的地位已經是最重要的，近幾年來網路的快速發展，使得網路在人們生活中占據了重要性，另一方面因無線網路的優點具有高移動性，無電纜線束縛等等，使得無線網路廣泛的被許多企業、學校運用，並取代舊有的有線網路。因此為了提供更高速的資料傳輸效能，近年來有兩種以分頻多工存取技術(Frequency Division multiplexing Access, FDMA)為基礎的下世代行動通訊標準規格[1]-[7]被提出。

其一為IEEE所制定之WiMAX系統[2]，另一技術是3GPP所制定的LTE(Long Term Evolution)系統[3]。WiMAX系統使用OFDMA(Orthogonal Frequency Division multiplexing Access)技術作為上鏈(uplink)傳輸與下鏈(downlink)傳輸，以IEEE 802.16e為基礎之WiMAX系統的特色為：(1) 覆蓋範圍可達30公里；(2) 可支援至120 km/h移動速度的使用者；(3) 在頻寬10MHz下，上鏈的資料傳輸率可達28Mb/s，且下鏈的資料傳輸率可達63Mb/s。LTE系統的上鏈傳輸使用SC-FDMA(Single Carrier FDMA)技術，下鏈(downlink)傳輸則是以OFDMA(Orthogonal Frequency Division multiplexing Access)技術為基礎。其特色為：(1) 在頻寬20MHz下，上鏈的資料傳輸率可達50Mb/s，且下鏈的資料傳輸率可達100Mb/s；(2) 可支援高達120-350 km/h移動速度的使用者，甚至依照頻帶不同可支援高達500 km/h的移動速度；(3) 針對覆蓋範圍而言，頻譜效益、流量與移動之門檻

應在於5公里範圍皆可達到，而在效能些微降低下，應可覆蓋至30公里，甚至100公里也被列入考慮範圍內。

本篇以 SC-FDMA 作為基本架構，並結合混合式自動重傳機制(HARQ)與模糊系統(Fuzzy System)，提出一種可適性的重傳方式可以有效的減少不必要的訊號傳送與次數。

此外，混合自動重傳機制結合了自動重傳機制(Automatic Repeat Request, ARQ)及前向錯誤更正(Forward Error Correction, FEC)的優點延伸而成的一種技術。自動重傳機制演算法[8]根據接收端是否正確接收到信號及判斷是否重傳，其優點為提升效能及網路的可靠性，而前向錯誤更正不但可以重傳還可以更正錯誤，因此混合自動重傳機制已取代自動重傳機制。混合自動重傳機制分為：CC(Chase Combining)與IR(Incremental Redundancy)。CC-HARQ以相同的編碼率情況下旋轉原始訊號之相位作為重傳訊號，在接收端再將原始信號與重傳信號相加，取得接收訊號；而IR-HARQ利用不同的編碼率作為信號的傳輸，將原始信號與重傳信號相加將增加冗餘資訊。CC-HARQ所提供之效能比IR-HARQ差，但重傳方式卻相對來得簡單，因此本篇論文將利用CC-HARQ方法結合模糊系統(Fuzzy System)提升系統效能。而模擬結果也表現出本篇論文所提出之方法能有效的減少重傳次數提高系統效能。

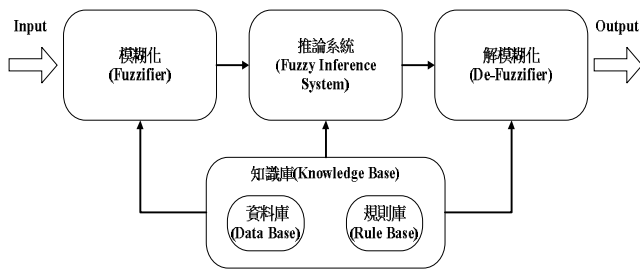
本篇論文分為：第二節介紹模糊系統架構；第三節提出一個HARQ結合模糊系統之研究方法來減少訊號的重傳次數；第四節為模擬結果；最後為結論。

## 二、模糊系統架構

模糊理論控制器的基本架構如圖一。大略可分為四個部分[9][10]：

1. 模糊化介面：將明確的輸入轉換為對應的歸屬函數模糊語言值。
2. 知識庫：其中又包含資料庫與規則庫，資料庫定義歸屬函數的形式與範圍，規則庫則記錄所定義的IF~THEN~法則。
3. 推理引擎：推論系統則執行模糊規則的推論。
4. 解模糊介面：將模糊演算結果轉換為明確的輸出。

本篇論文主要是利用模糊系統中的知識庫為主要的應用，藉著規則的設定與資料庫的相呼應來判別重傳次數的多寡。



圖一：模糊理論控制器

知識庫其中又包含資料庫(data base)與規則庫(rule base)，資料庫定義歸屬函數的形式與範圍，規則庫則記錄所定義的 IF~THEN 法則。

資料庫(data base)：

提供建立模糊介面所需要的定義。包含模糊數、歸屬函數狀態的定義。

規則庫(rule base)：

一般的規則庫大多建立的規則是以 IF~THEN 的形式來描述所建立的法則。基本上，這種方法可以方便於表達經驗以及控制決策的方式，一般來說這些建立的規則主要來自於：

- (1) 操作員長時間的經驗累積所建立
- (2) 由專家的知識與分析所獲得的規則
- (3) 根據被控系統的特性來制定的控制法則
- (4) 經由自我學習的方式所獲得的法則

規則庫的模糊法則是整體模糊理論控制判斷系統的核心。一個訊號同時觸發兩條或者更多條的規則時可以如式子(1)表示。

規則一：IF  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$ , THEN  $z$  is  $C_1$

規則二：IF  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$ , THEN  $z$  is  $C_2$  (1)

其中  $x$ 、 $y$  為輸入歸屬函數， $z$  為輸出歸屬函數

### 三、 HARQ 結合模糊系統之研究方法

由於 HARQ 這門技術涉及了封包數據的重傳，而通道的傳輸品質又與封包數據傳送時的錯誤率有很大的關係，因此如何讓封包數據能夠正確重傳降低錯誤率且又能在不同的通道情況下選擇一種較好的重傳方式，藉此提高封包傳送成功的機率，提高系統的吞吐量(Throughput)。

為了解決這些問題，本篇論文提出將 HARQ 機制加入模糊系統利用其特性，例如：規則或門檻值設定，使系統能針對通道條件等因素來選取較適當的重傳次數，使 HARQ 能隨著通道 SNR 的變化適應性的改變重傳次數並且符合 HARQ 機制的的需求。雖然除了通道因素之外還有其他因素會導致系統效能不好，但本篇論文目前先針對通道條件的部分進行研究。

首先根據不同的通道的情況，進行通道與 SC-FDMA 與 HARQ 機制系統的模擬訓練，接著將數筆的模擬結果所得到的資訊做為模糊系統裡的規則庫與門檻值的設定依據，可設定出多組的規則與門檻值，本篇論文在此以 Rayleigh Channel 做為通道的模擬環境。

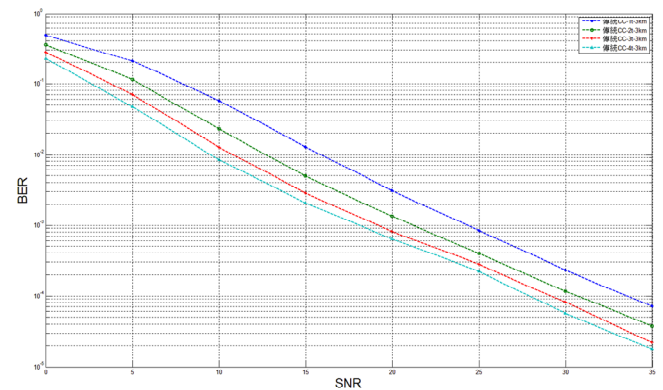
模糊系統的規則與門檻值的建立如圖二、圖三、圖四所示。我們將其建構過程依以下步驟所示：

步驟 1: 在 Rayleigh Channel 的通道下與系統進行模擬訓練得其結果。

步驟 2: 以語音品質的要求為基準設定一個錯誤率，使之後的重傳動作能保持在一定的錯誤率之下。

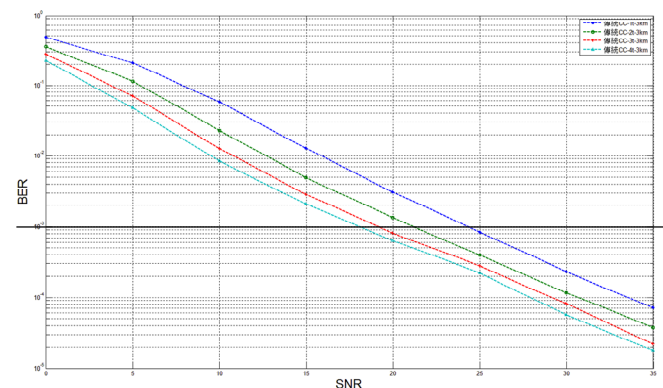
步驟 3: 在同一通道下依照不同的重傳次數設定其對應的 SNR 值。

首先以圖二所示，將會根據 Rayleigh Channel 做為通道的模擬環境進行模擬，並可得出不同的重傳次數的模擬結果。



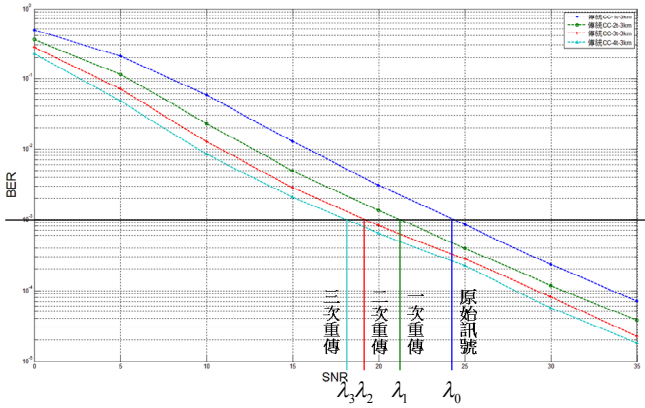
圖二：Rayleigh Channel 通道下與系統進行模擬訓練之結果

接著為了讓重傳的訊號在重傳的時候能保持在一定的錯誤底下，在此我們以語音品質的要求做為基準，設定其錯誤率在  $BER = 10^{-3}$ ，當加入模糊系統後可以使經過推論出的重傳訊號的錯誤率至少能保持在  $BER = 10^{-3}$  以下，以圖三所示。



圖三：錯誤率設定

接著如圖四所示，設定完錯誤率之後將會根據不同的重傳次數來設定其對應的  $\lambda_i$  (SNR) 門檻值，利用這些  $\lambda_i$  (SNR) 門檻值做為規則庫裡 IF-THEN 的設定依據。



圖四：不同的重傳次數設定所對應之 SNR 值

根據圖四進行規則與門檻值的設定，假設原始傳送訊號至 3 次重傳所對應到的 SNR 值分別為  $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ ，則門檻值如式子(2)所示。

$$\begin{aligned}
 SNR \geq \lambda_0 &\Rightarrow \text{原始傳送訊號} \\
 \lambda_0 > SNR \geq \lambda_1 &\Rightarrow \text{1次重傳} \\
 \lambda_1 > SNR \geq \lambda_2 &\Rightarrow \text{2次重傳} \\
 \lambda_2 > SNR \geq \lambda_3 &\Rightarrow \text{3次重傳}
 \end{aligned} \tag{2}$$

根據(2)式可以將其改寫成模糊系統規則的形式如式子(3)所示其中  $R_t$  為重傳次數。

$$\begin{aligned}
 \text{IF } SNR \geq \lambda_0 &\text{ THEN } R_t = 0 \\
 \text{IF } \lambda_0 > SNR \geq \lambda_1 &\text{ THEN } R_t = 1 \\
 \text{IF } \lambda_1 > SNR \geq \lambda_2 &\text{ THEN } R_t = 2 \\
 \text{IF } \lambda_2 > SNR \geq \lambda_3 &\text{ THEN } R_t = 3
 \end{aligned} \tag{3}$$

設定完成後，將會在傳送訊號上插入領航訊號，利用領航訊號通道估測的方式來估測當下通道的 SNR 值做為模糊推論系統的輸入變數，使系統可以根據當下的通道情況進行最有效率的重傳。

領航訊號經過通道後的通道頻率響應值如式子(4)所示

$$\begin{aligned}
 H_p(k) &= X_p^{-1} Y_p \\
 &= \begin{bmatrix} Y_p(k) \\ X_p(k) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$H_p$  : 領航訊號所估測之通道響應

$X_p$  : 傳送端以知的領航訊號

$Y_p$  : 接收端收到的觀測訊號

經由領航訊號通道估測得到的通道響應如式子(4)所示，並可將以得知的相關資訊以 SNR 的形式表現出來如式子(5)所示：

$$SNR_i = \frac{E\{|Y_p|^2\}}{E\{|n_i|^2\} \|H_p\|} \tag{5}$$

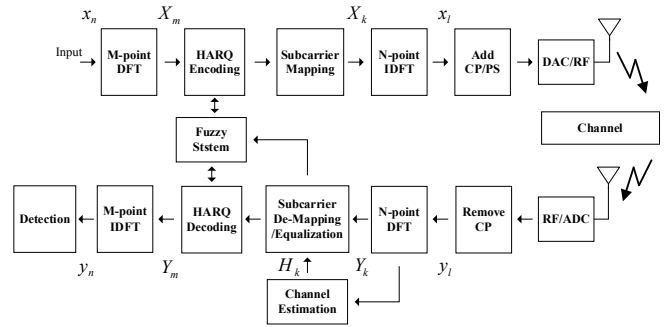
$Y_p$  : 傳送訊號

$n_i$  : 雜訊

$H_p$  : 已估測之通道響應

接著將得到的 SNR 值做為模糊系統的輸入訊號進行推論，進而可以得到最適當的重傳次數。

#### 四、 模擬結果



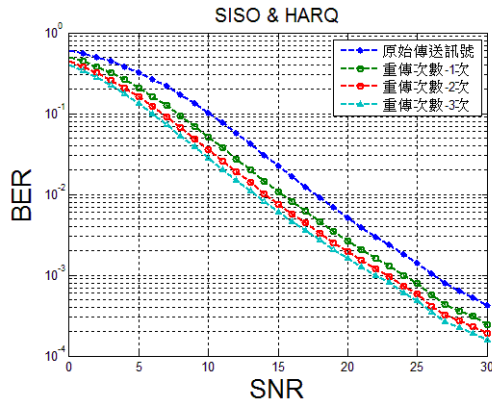
圖五：SC-FDMA 加入 HARQ 機制與模糊系統於 SISO 系統架構圖

圖五為 SC-FDMA 系統下加入 HARQ 機制與模糊系統之架構圖，系統之參數設定如表 I 所示。調變方式以 QPSK 為主，資料子載波個數為 300，總子載波個數為 512，中心子載波為 2GHz，頻寬為 5MHz，而在接收端則使用 Zero forcing 等化器，CP 週期為 4.69 $\mu$ s，因為自動重傳機制的重傳次數有上限限制，在此我們假設其重傳次數包含原始訊號為 4 次來分析系統效能。

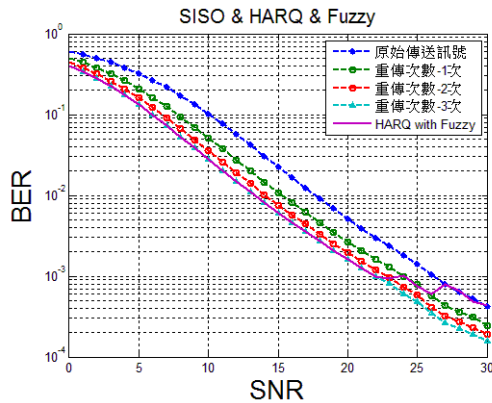
首先，圖六表示 SC-FDMA 系統加入 HARQ 之效能進行系統分析。圖七與圖八表示 SC-FDMA 下加入 HARQ 機制與模糊系統的系統效能分析，而圖九表示 SC-FDMA 系統結合模糊系統之重傳次數與 SNR 的關係。

表 I SC-FDMA 系統參數表

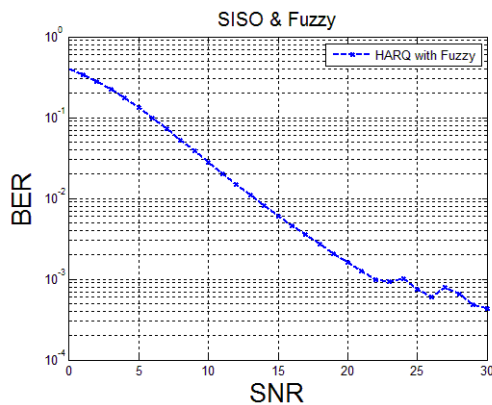
FFT size	512
Data subcarriers	300
CP size	36
Modulation	QPSK
Equalizer	Zero forcing
Carrier frequency	2GHz
Channel bandwidth	5MHz
Subcarrier spacing	15kHz
Symbol duration	66.667 $\mu$ s
CP duration	4.69 $\mu$ s
Retransmissions	4



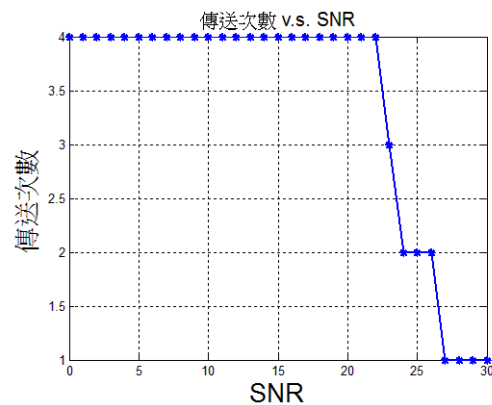
圖六：SC-FDMA 系統結合 CC-HARQ 機制之模擬結果



圖七：SC-FDMA 系統結合 CC-HARQ 機制與模糊系統之模擬結果



圖八：SC-FDMA 系統結合模糊系統之模擬結果



圖九：SC-FDMA 系統結合模糊系統之重傳次數與 SNR 的關係

由圖六所示，可以發現當重傳次數增加時系統效能越好，SNR 不僅變小也會有較低的錯誤率，接著可以由圖七可知，本篇論文所提出的方法不僅能根據 SNR 的大小變化而慢慢的減少重傳次數，在重傳次數減少同時還能使錯誤率保持在  $BER=10^{-3}$  以下，也可以由圖九的 SNR 與重傳次數的關係對照於圖七可以發現當 SNR 慢慢變大時重傳次數將會慢慢減少。

而圖八的模擬曲線部分，因為本論文主要在於探討減少重傳的次數，因此在  $BER=10^{-3}$  的錯誤率下只考慮重傳次數的減少，而沒有考慮多次重傳可以達到更好的效能，因此模擬曲線展示出來的結果會是在各個重傳次數上跳動，而不是朝向更好的效能模擬曲線。本論文提出的方法可以根據其通道情況與保持一定的錯誤率進而減少重傳次數，使此系統能有適應性的重傳機制。而從模擬結果來看，本論文所提出的方法能大大改善系統效能。

### 結論

本篇以 SC-FDMA 的系統為基本架構提出一種 CC-自動重傳機制結合模糊系統的方法，利用模糊系統來降低其自動重傳的次數來提升系統效能。由模擬結果來看，我們提出的方法可以使系統的 BER 保持在一定的錯誤率以下並減少重傳次數，提高系統的效能。目前本論文專注於 HARQ 機制重傳次數的研究，因為 HARQ 機制對於系統整體效能所需要考慮的因素繁多，例如：載波間干擾、移動速度、通道等因素，各個因素之間又息息相關、互相影響，所以在未來的研究中我們希望利用我們現有的系統模型，加入調變與編碼的部分進行分析，並在不同通道下進行模擬與分析，使此系統在模擬效能和整體品質評估之間能有更好的結果。

### 參考文獻

- [1] L. M. Correia, *Mobile Broadband Multimedia Networks : Techniques, Models and Tools for 4G*, Elsevier, 2006.
- [2] J. G. Andrews, A. Ghosh, and R. Muhamed *Fundamentals of WIMAX : Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, upper Saddle River, New Jersey, 2006.
- [3] F. Khan, *LTE for 4G Mobile Broadband : Air Interface Technologies*, Cambridge Uni. Press, 2009.
- [4] H. G. Myung and D. J. Goodman, *Single Carrier FDMA : A New Air Interface for Long Term Evolution*. John Wiley & Sons, 2008.
- [5] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*, John Wiley & Sons, 2003.
- [6] H. G. Myung, J. Lim and D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Sept. 2006, pp. 30-38.
- [7] B. Zhou, *Doppler Estimation for Uplink LTE*, Thesis, Stockholm, Sweden, 2008.
- [8] S. Lin, D. J. Costello. Jr. and M. J. Miller, "Automatic-Repeat-Request Error-Control Schemes," *IEEE Communications Magazine*, vol. 22, no. 12, Dec. 1984.
- [9] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [10] Chiao-Yin Huang, Wen-Ching Chung, Chung-Ju Chang and Fang-Ching Ren, "Fuzzy Q-Learning-Based Hybrid ARQ for High Speed Downlink Packet Access," *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)*, Dec. 2009, pp. 1-4.